



PERÚ

Ministerio
del AmbienteGRUPO IMPULSOR DE
ACCIÓN CLIMÁTICA
DE LA ACADEMIA

Policy Brief

Modelo de vulnerabilidad al cambio climático por peligro de inundaciones para el cálculo del costo evitado. Caso sector El Piste, ciudad de Calca, Cusco.

Autor

Juan Carlos Montero Chirito¹

¹Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.
Carrera de Ingeniería Geográfica. Tesis de Posgrado.
Correo: jcarlosmo@unmsm.edu.pe

Resumen

El cambio climático genera cambios en las intensidades y recurrencias de las inundaciones en el Perú, afectando a las unidades sociales más vulnerables. En este contexto, se desarrolló un modelo de vulnerabilidad al cambio climático ante el riesgo de inundaciones para el cálculo del costo evitado, aplicado en el sector El Piste, ciudad de Calca (Cusco), donde el objetivo principal fue establecer el grado de influencia del modelo en la estimación del costo evitado de destrucción de viviendas, a partir de la integración de variables físicas y socioeconómicas, bajo los criterios de exposición, fragilidad y resiliencia, ponderados con el método de Saaty (AHP). El modelo fue calibrado y validado estadísticamente, confirmando que a mayor vulnerabilidad, mayores pérdidas económicas. Entre los factores más influyentes se identificaron la precipitación, características del suelo y localización de las viviendas. Los resultados muestran que, mediante acciones preventivas, el costo evitado alcanzaría un total de 478 mil soles, equivalente a la protección de 25 viviendas. Esto sostiene la importancia de incluir el costo evitado como criterio en la planificación urbana y la gestión del riesgo de desastres, al brindar a las autoridades una herramienta práctica para la toma de decisiones frente al cambio climático.

1. Descripción del problema

El cambio climático se manifiesta en modificaciones de la frecuencia y la intensidad de los eventos extremos, reflejadas en los patrones de precipitación y circulación atmosférica (Renom, 2009). A nivel global, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés, 2012) sostiene que el riesgo de desastres surge de la interacción entre la amenaza, la exposición y la vulnerabilidad, y que la reducción de estas es fundamental para disminuir los impactos. En este marco, las inundaciones constituyen uno de los fenómenos hidrometeorológicos más peligrosos, cuya recurrencia depende del sistema climático como también de las condiciones geomorfológicas y topográficas, convirtiéndose en desastres cuando las unidades sociales ocupan áreas cercanas a los álveos o cursos de agua, como las llanuras de inundación que son zonas naturales de evacuación de caudales.

En el Perú, el fenómeno El Niño 1997–1998 ocasionó pérdidas económicas de más de 3 500 millones de dólares (DGPM-MEF, 2007). Asimismo, en el Cusco las inundaciones del año 2011 provocaron 20 muertes, 37 000 damnificados y alrededor de 1 200 millones de soles en daños (Gobierno Regional de Cusco, 2015; COEN-INDECI, 2016).

En la ciudad de Calca (Cusco), la situación es crítica. Esto se debe a que el río Qochoq, afluente del Vilcanota, atraviesa el sector El Piste y, en varias ocasiones, sus desbordes han tomado la carretera como cauce alterno, alcanzando incluso el centro urbano (PREDECAN, 2008). Entre 1970 y 2018 se registraron 18 inundaciones en el distrito de Calca, de las cuales 14 afectaron directamente a este sector, convirtiéndose en el evento más recurrente de los últimos 30 años (SINPAD-INDECI, 2019). El Piste se localiza en la parte norte de la ciudad de Calca y alberga una población aproximada de 650 habitantes, compuesta por socios de la asociación local, pobladores nacionales y residentes extranjeros, quienes están directamente expuestos a los impactos de los desbordes del río.

Fecha	Lugar	Fuente de Información	Detalle
1980	Piste	Ciudades Sostenibles	Inundaciones y huaycos. Puentes provisionales dañados.
24/01/1982	Piste	El Comercio 24.01.82	
23/03/1983	Piste	El Comercio 24.03.77	Inundación de carretera. Afectación de bocatomas y puentes en El Piste.
05/04/1986	Piste	El Comercio 07-04-86	Embalse río Qochoq. 82 damnificados, 16 viviendas afectadas, 6 ha. Afectadas en El Piste.
16/01/1990	Calca	INDECI	75 damnificados, 15 viviendas afectadas.
12/12/1993	Piste	INDECI	5 viviendas afectadas.
15/01/1998	Piste	INDECI	288 damnificados, 48 viviendas destruidas, CPDC de Calca efectúa trabajos de rehabilitación de la carretera, apoyo logístico a damnificados.
04/02/2000	Piste	INDECI	2 a.m. de la madrugada. Desembalse arrasó la tubería de conducción de EMSAPA; inundó parte de terrenos de cultivo y la carretera Calca-Piste, así como 16 viviendas del barrio Piste, afectando casas y animales menores.
09/02/2002	Piste	Ciudades Sostenibles	Sin mayores daños.
04/02/2003	Zona de Piste	Ciudades Sostenibles	Precipitaciones pluviales incrementaron el caudal del río Qochoq. 05 familias damnificadas.
09/02/2003	Calca	SIAPAD	Inundaciones afectan viviendas.
13/01/2006	Piste	SIAPAD	Desborde del río Qochoq que inunda viviendas. 10 familias (40 personas) damnificadas por ser declaradas inhabitables sus viviendas. Los propietarios recuperaron la mayor parte de sus pertenencias.
05/02/2008	Piste	SIAPAD	Muros de defensa afectados en El Piste.
09/03/2011	Piste	SIAPAD	8 viviendas afectadas.
04/02/2015	Piste	SIAPAD	Desborde del río Qochoq que inunda viviendas. 2 familias (8 personas).
08/03/2016	Piste	SIAPAD	

Cuadro 1. Inventario de inundaciones en Piste (periodo 1970 – 2018).
Adaptado de SINPAD, INDECI (2019)

Las condiciones de las viviendas refuerzan la vulnerabilidad existente. En El Piste se han identificado graves problemas en el estado de las edificaciones y la planificación territorial. La mayoría de viviendas son de uno o dos pisos, y más del 70% se encuentra en estado regular o malo, lo que refleja una vulnerabilidad estructural generalizada (PREDECAN, 2008). Esta situación se agrava porque las viviendas en peor estado se ubican junto a la ribera del río Qochoq, aumentando su exposición. En este contexto, se ha determinado que el 88% de las edificaciones de uno y dos niveles, construidas en adobe y material noble, se encuentran expuestas a inundaciones (Sequeiros Cuba & Farfán Encalada, 2011).

El territorio de Calca ha sido históricamente propenso a los peligros de origen geológico y climático, en un contexto de alta sismicidad y lluvias extremas exacerbadas por el Fenómeno. El Niño. Los factores que incrementan el caudal del río incluyen precipitaciones intensas, deslizamientos y caída de huaycos, lo que aumenta la probabilidad de desbordes y daños a la población e infraestructura.

En cuanto al marco institucional, el Gobierno del Perú, mediante la Ley N.º 29664 (2011) y su reglamento, creó el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres – SINAGERD, que define la estimación del riesgo como un proceso que comprende el conocimiento de los peligros, el análisis de la vulnerabilidad y el establecimiento de niveles de riesgo que permitan la toma de decisiones (PCM, 2011). Sin embargo, con el enfoque actual, las metodologías disponibles resultan genéricas, ya que para las inundaciones no existen métodos oficiales específicos, sino lineamientos que deben ser adaptados a cada peligro. La investigación confirma que, aunque existen modelos propuestos para inundaciones, ninguno había estado orientado al cálculo del costo evitado, lo que representa una limitación metodológica en la gestión del riesgo.

2. Hallazgos

En Calca, el análisis climático en base a datos del SENAMHI (1958–2017) y de la base PISCO (1981–2016) evidenció un aumento progresivo de la temperatura: la media creció en 1,08 °C, la máxima en 1,40 °C y la mínima en 1,92 °C. Estos aumentos se concentran principalmente en los meses secos. Mientras que la precipitación no presentó cambios significativos, pero sí una variabilidad mensual que explica la recurrencia de crecidas del río Qochoq.

En el análisis hidrológico, los cálculos de caudales para diferentes períodos de retorno evidenciaron que, en un escenario de 100 años, el cauce del río requeriría al menos 10 metros de ancho y 2 metros de profundidad para evitar desbordes, mientras que para 200 años la sección mínima debería ser de 10 metros de ancho y 2.5 metros de profundidad. Asimismo, se estimó que un posible aluvión podría llegar a la ciudad de Calca en apenas 15 a 25 minutos, resaltando así la urgencia de contar con sistemas de alerta temprana y medidas locales de prevención.

En el sector El Piste se aplicó el modelo de vulnerabilidad al cambio climático por inundaciones, que integra las dimensiones físicas, sociales y económicas, evaluadas mediante los criterios de exposición, fragilidad y resiliencia, ponderados con el método de Saaty (AHP). La calibración y validación estadística confirmaron su consistencia, alcanzando una correlación muy fuerte ($r = 0.825$; $p < 0.05$) entre el nivel de vulnerabilidad y las pérdidas económicas evitadas. Esto demuestra que el modelo posee solidez científica y convierte la vulnerabilidad en cifras claras para priorizar medidas de prevención.

Se identificaron como factores críticos a la precipitación, las características del suelo y la localización de las viviendas. Los resultados cuantitativos muestran que con medidas preventivas podrían evitarse pérdidas de hasta 25 viviendas, equivalentes a S/ 478 000. El Índice de Costo Evitado (ICE)¹

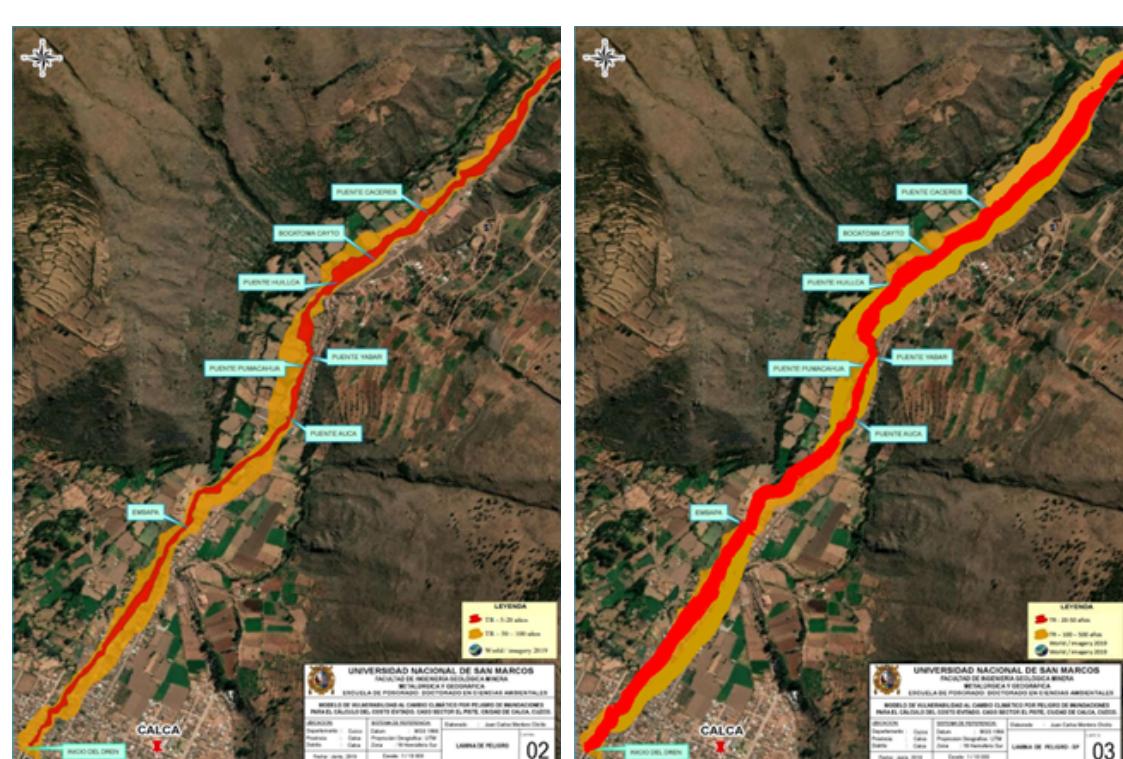
¹ Índice de Costo Evitado (ICE): Indicador que estima el dinero que se ahorrará al invertir en medidas de prevención frente a las pérdidas que causaría una inundación.

fue de 0.68, considerado de alta significancia, lo que demuestra que el modelo ayuda a decidir dónde invertir primero y cómo aprovechar de manera más eficiente los recursos destinados a la prevención.

Indicador clave	Resultado
Correlación vulnerabilidad – costo evitado	$r = 0.825$ (muy fuerte, $p < 0.05$)
Índice de Costo Evitado (ICE)	0.68 (significancia alta)
Viviendas protegidas	25 viviendas
Pérdidas evitadas	S/ 478 000

Cuadro 2. Resumen de resultados clave del modelo de vulnerabilidad al cambio climático por inundaciones en el sector El Piste (Calca, Cusco).

El modelo generó mapas de peligros por períodos de retorno (5–20 y 50–100 años; 20–50 y 100–500 años). Estos mapas permiten visualizar las zonas críticas, facilitando la comprensión de cómo se distribuye el riesgo en el territorio (Figura 1).



- Ordenamiento territorial y financiamiento sostenible:**
La inadecuada expansión urbana en zonas de riesgo incrementa la vulnerabilidad de la población. Frente a ello, se recomienda implementar instrumentos locales específicos de gestión del riesgo y prevención de inundaciones, articulados a la planificación municipal. Asimismo, se debe gestionar financiamiento a través del Fondo para Intervenciones ante Desastres Naturales (FONDES) y del Programa Presupuestal 068. Los pasos incluyen la delimitación y zonificación de áreas de riesgo utilizando los mapas de peligros de la investigación, la aprobación de ordenanzas municipales que eviten construcciones en zonas vulnerables, y la gestión de proyectos ante el MEF para obtener financiamiento. Con estas acciones se reduciría la exposición futura, se asegurarían inversiones sostenibles y se garantizarían recursos para medidas preventivas. Su principal ventaja es que genera un cambio estructural de largo plazo en la reducción de la vulnerabilidad local.

4. Referencias bibliográficas

- Alves, L., Santos, C., Querino, S., & Gama, M. (2016). Tendencia precipitación zonal y anual de eventos extremos entre 1943 y 2015 en el Alto Río Acre. Centro Regional de Porto Velho.
- DGPM-MEF. (2007). Conceptos asociados a la gestión del riesgo en un contexto de cambio climático: aportes en apoyo de la inversión pública para el desarrollo sostenible. Conceptos asociados a la gestión del riesgo en un contexto de cambio climático: aportes en apoyo de la inversión pública para el desarrollo sostenible. https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/docs/estudios_documentos/documentos/ConceptosDesastresCambio.pdf
- IPCC. (2012). Gestión de los riesgos de fenómenos meteorológicos extremos y desastres para mejorar la adaptación al cambio climático. https://archive.ipcc.ch/pdf/special-report/srex/IPCC_SREX_ES_web.pdf
- Ley N° 29664 de creación del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, Pub. L. No. Ley N° 29664, Presidencia de Consejo de Ministros - Perú (2011).
- Montero, J. (2023). Modelo de vulnerabilidad al cambio climático por peligro de inundaciones para el cálculo del costo evitado. Caso sector El Piste, ciudad de Calca, Cusco [Tesis de doctorado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/item/1b019e16-4ab0-483e-add1-0342851a2c25>
- Proyecto Apoyo a la Prevención de Desastres en la Comunidad Andina [PREDECAN]. (2008). Plan Comunitario de Gestión del Riesgo de Desastres de la Comunidad de Piste. Municipalidad Provincial de Calca, Cusco. Calca: Proyecto PREDECAN. Obtenido de https://predes.org.pe/wpcontent/uploads/2017/11/plan_comunitario_piste.pdf
- Puertas, O., Carvajal, Y., & Quintero, M. (2011). Estudio de tendencias de la precipitación mensual en la Cuenca Alta - Media del río Cauca. Dyna, 169, 112–120. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49622390013>
- Renom, M. (2009). Temperaturas extremas en Uruguay. Análisis de la variabilidad temporal de baja frecuencia y su relación con la circulación a gran escala. [Tesis para optar al título de Doctor de la Universidad de Buenos Aires en el área de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos]. <https://docplayer.es/14496055-Universidad-de-buenos-aires-facultad-de-ciencias-exactas-y-naturales.html>
- Salas, E. (2014). Análisis de tendencia de la temperatura y precipitación pluvial mensual en la cuenca del río Illpa, Puno [Tesis para optar el título de Ingeniero Agrícola, Universidad Nacional Del Altiplano]. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RNAP_9ac7b8bfeb4124e0d34d7b8e797167c7/Details
- Sequeiros Cuba, M., & Farfán Encalada, S. (2011). Evaluación hidrológico e hidráulico con el modelo Iber para determinar el riesgo por inundación en la población ribereña al río Qochaq, provincia de Calca – región Cusco 2017 [Tesis para optar el grado de Ingeniero geólogo, Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco]. http://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12918/4470/253T20190495_TC.pdf?sequence=1&isAllowed=y